

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Львівський національний університет імені Івана Франка
Фізичний факультет
Кафедра теоретичної фізики імені професора Івана Вакарчука

Затверджено

На засіданні кафедри теоретичної фізики імені
професора Івана Вакарчука
фізичного факультету
Львівського національного університету
імені Івана Франка
(протокол № 1 від 31.08.2025 р.)

Завідувач кафедри  проф. Ткачук В. М.

Силабус
з навчальної дисципліни «Квантові алгоритми та квантова музика»,
(Quantum algorithms and quantum music)
що викладається в межах
ОНП «Квантові комп'ютери та квантове програмування»
другого (магістерського) рівня вищої освіти
для здобувачів з спеціальності Е5 Фізика та астрономія

Львів 2025

Назва дисципліни	Квантові алгоритми та квантова музика
Адреса викладання дисципліни	вул. Драгоманова, 19, 79005, м. Львів
Факультет та кафедра, за якою закріплена дисципліна	фізичний факультет, кафедра теоретичної фізики імені професора Івана Вакарчука
Галузь знань, шифр та назва спеціальності	Галузь знань – Е Природничі науки, математика та статистика Спеціальність – Е5 Фізика та астрономія
Викладач дисципліни	Лектор: Гнатенко Христина Павлівна, професор кафедри теоретичної фізики імені професора Івана Вакарчука, д-р ф.-м.н.;
Контактна інформація викладача	Khrystyna.gnatenko@lnu.edu.ua https://physics.lnu.edu.ua/employee/hnatenko-h-p
Консультації з курсу відбуваються	Консультації в день проведення лекцій та лабораторних занять (за попередньою домовленістю). Також можливі консультації через електронну пошту або он-лайн засобами Microsoft Teams, Telegram.
Сторінка курсу	https://physics.lnu.edu.ua/course/kvantovi-alhoryt...e-prohramuvannia
Інформація про дисципліну	Дисципліна «Квантові алгоритми та квантова музика» є вибірковою дисципліною для підготовки магістра за спеціальністю 104 «Фізика та астрономія», яка викладається в III семестрі в обсязі 5 кредитів (за Європейською Кредитно-Трансферною Системою ECTS).
Коротка анотація дисципліни	Дисципліна «Квантові алгоритми та квантова музика» присвячена вивченню квантових алгоритмів та написанню за допомогою них музики.
Мета та цілі дисципліни	Метою даної дисципліни є одержання студентами знань основних принципів написання музики за допомогою квантових комп'ютерів Завданням курсу є формування в студентів знань та умінь створення квантових алгоритмів, формування їх зв'язку з музикою.
Література для вивчення дисципліни	Базова: <ol style="list-style-type: none"> Putz, V., Svozil, K. Quantum music. <i>Soft Comput</i> 21, 1467–1471 (2017). https://doi.org/10.1007/s00500-015-1835-x Miranda, E.R. (2021). Quantum Computer: Hello, Music!. In: Miranda, E.R. (eds) <i>Handbook of Artificial Intelligence for Music</i>. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-72116-9_34 В. М. Ткачук, <i>Фундаментальні проблеми квантової механіки</i>. Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2011. – 144 стор. Допоміжна: <ol style="list-style-type: none"> Putz, V., Svozil, K. (2022). Quantum Music, Quantum Arts and Their Perception. In: Miranda, E.R. (eds) <i>Quantum Computing in the Arts and Humanities</i>. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-95538-0_5 Т. Є. Крохмальський, <i>Вступ до квантових обчислень</i>. Навч. пос. – Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2018. – 204 стор. Додаткові матеріали також буде запропоновано для кожної теми окремо. Інформаційні ресурси: <ol style="list-style-type: none"> https://quantum-computing.ibm.com/composer/files/new https://www.rigetti.com/ https://codebook.xanadu.ai/
Тривалість курсу	один семестр
Обсяг курсу	150 годин, з яких 48 годин аудиторних занять, з них 16 годин лекцій, 32 години лабораторних занять, та 102 годин самостійної роботи.
Очікувані результати навчання	В результаті вивчення даного курсу студенти повинні знати: основні принципи написання квантової музики

	<p>вміти: створити квантові протоколи для написання одно та багатоголосної музики.</p> <p><i>Загальні компетентності</i></p> <p>ЗК03. Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.</p> <p>ЗК05. Здатність використовувати інформаційні та комунікаційні технології.</p> <p><i>Спеціальні компетентності</i></p> <p>СК05. Здатність сприймати новоздобуті знання у галузі фізики та астрономії та інтегрувати їх з уже наявними, а також самостійно опановувати знання та навички, необхідні для розв'язання складних задач і проблем у нових для себе деталізованих предметних галузях фізики та/або астрономії й дотичних до них міждисциплінарних областях.</p> <p>СК12. Здатність моделювати фізичні системи та досліджувати їх властивості на квантових комп'ютерах</p> <p>СК13. Здатність застосовувати квантове програмування для розв'язання прикладних задач</p> <p><i>Програмні результати навчання (ПРН), на досягнення яких спрямоване вивчення курсу:</i></p> <p>РН11. Застосовувати теорії, принципи і методи фізики та/або астрономії для розв'язання складних міждисциплінарних наукових і прикладних задач.</p> <p>РН12. Розробляти та застосовувати ефективні алгоритми та спеціалізоване програмне забезпечення для дослідження моделей фізичних та/або астрономічних об'єктів і процесів, обробки результатів експериментів і спостережень.</p> <p>РН13. Створювати фізичні, математичні і комп'ютерні моделі природних об'єктів та явищ, перевіряти їх адекватність, досліджувати їх для отримання нових висновків та поглиблення розуміння природи, аналізувати обмеження.</p> <p>РН17. Створювати квантові протоколи та реалізовувати їх на квантових комп'ютерах</p> <p>РН20. Застосовувати квантове програмування для розв'язання прикладних задач</p>
Ключові слова	Квантовий комп'ютер, квантова музика, квантовий алгоритм
Формат курсу	Очний
	проведення лекцій, лабораторних занять і консультації для кращого розуміння тем
Теми	Наведено у таблиці 1
Підсумковий контроль, форма	Залік в кінці семестру.
Пререквізити	Для вивчення курсу студенти потребують базових знань квантової механіки та класичного програмування
Навчальні методи та техніки, які буде використано під час викладання курсу	Презентації, лекції, робота за комп'ютером.
Необхідне обладнання	персональний комп'ютер, загальнонавчівані комп'ютерні програми й операційні системи, проєктор, доступ до квантових комп'ютерів через інтернет, музичний інструмент

<p>Критерії оцінювання (окремо для кожного виду навчальної діяльності)</p>	<p>Оцінювання проводиться за 100-бальною шкалою. Бали нараховуються за таким співвідношенням: • робота на лабораторних заняттях під час семестру: 40% сумарної оцінки; максимальна кількість балів — 40 відповідно до такої шкали: 31–40 — активна участь у 7–8 заняттях; 21–30 — активна участь у 5–6 заняттях; 11–20 — активна участь у 3–4 заняттях; 1–10 — активна участь у 1–2 заняттях; 0 — жодної активної участі в лабораторних заняттях; • підсумкова контрольна робота за двома змістовими модулями (по 30 балів): 60% сумарної оцінки; максимальна кількість балів — 60; (6 завдань по 5 балів, де 5 балів — завдання зроблене повністю, 4 --рівень виконання завдання достатній, 3 — рівень виконання завдання задовільний, 1-2 — зроблено перші кроки розв'язання завдання, 0 — нічого не зроблено). Підсумкова максимальна кількість балів — 100.</p> <p>Академічна доброчесність здобувачами вищої освіти передбачає самостійне виконання навчальних завдань, завдань поточного та підсумкового контролю результатів навчання. Списування, втручання в роботу інших студентів становлять, але не обмежують, приклади можливої академічної недоброчесності. Виявлення ознак академічної недоброчесності в письмовій чи усній роботі студента є підставою для її незарахування викладачем, незалежно від масштабів обману.</p> <p>Відвідання занять є важливою складовою навчання. Очікується, що всі студенти відвідають усі лекції і практичні заняття курсу. Студенти мають інформувати викладача про неможливість відвідати заняття. У будь-якому випадку студенти зобов'язані дотримуватися усіх строків, визначених для виконання усіх видів робіт, передбачених курсом.</p> <p>Література. Усю література, яку студенти не зможуть знайти самостійно, буде надано викладачами виключно в освітніх цілях без права її передавання третім особам. Студенти заохочуються до використання також й іншої літератури та джерел, яких немає серед рекомендованих.</p> <p>Політика виставлення балів. Враховуються бали, набрані на практичних та поточному тестуванні. При цьому обов'язково враховуються присутність на заняттях та активність студента під час заняття; недопустимість пропусків та запізнь на заняття; користування мобільним телефоном, планшетом чи іншими мобільними пристроями під час заняття в цілях, не пов'язаних із навчанням; списування та плагіат; несвоєчасне виконання поставленого завдання і т. ін.</p> <p>Жодні форми академічної недоброчесності не толеруються.</p>
<p>Питання до екзамену (чи питання на контрольні роботи)</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Основні квантові алгоритми та їх особливості. 2. Відповідність станів кубіта музичним тонами. 3. Написання квантової мелодії, яка відповідає еволюції спіна в магнітному полі. 4. Відповідність багатокубітних квантових станів з тонами у музиці. 5. Написання квантової музики, які відповідають еволюції станів багатоспінових систем з моделлю Ізінга, моделлю Гайзенберга. 6. Кривизна та кручення квантових станів. Зв'язок геометричних характеристик квантових станів з симетрією у квантовій музиці. 7. Квантові графові стани спінових систем. Протоколи для написання квантової музики. 8. Побудова багатоголосної квантової музики за допомогою багатокубітних квантових протоколів. 9. Міри заплутаності квантових станів (узгодженість, геометрична міра заплутаності).

	<p>10. Написання багатоголосної квантової музики на основі протоколів з максимально заплутаними квантовими станами.</p> <p>1. Basic Quantum Algorithms and Their Features.</p> <p>2. Correspondence of qubit states to musical tones.</p> <p>3. Composing a quantum melody corresponding to the spin evolution in a magnetic field.</p> <p>4. Correspondence of multi-qubit quantum states with tones in music.</p> <p>5. Composing quantum music corresponding to the evolution of multi-spin systems with Ising model, Heisenberg model.</p> <p>6. Curvature and torsion of quantum states. Relationship between geometric characteristics of quantum states and symmetry in quantum music.</p> <p>7. Quantum graph states of spin systems. Protocols for composing quantum music.</p> <p>8. Construction of polyphonic quantum music using multi-qubit quantum protocols.</p> <p>9. Measures of entanglement in quantum states (entanglement entropy, geometric measure of entanglement).</p> <p>10. Composing polyphonic quantum music based on protocols with maximally entangled quantum states.</p>
Опитування	Анкету-оцінку з метою оцінювання якості курсу буде надано по завершенню курсу.

Таблиця 1

Схема курсу «Квантові алгоритми та квантова музика»

Тижні	Тема занять	Форма діяльності та обсяг годин	Термін виконання
1–2	Тема 1. Вступ. Основні квантові алгоритми та їх особливості Main Quantum Algorithms and Their Features	Лекції — 2 год. лабораторні — 4 год. самостійна робота — 12 год.	2 тижні
3–4	Тема 2. Стани одного кубіта та тони у музиці Принцип побудови відповідності станів кубіта з музичними тонами. Написання квантової мелодії, яка відповідає еволюції спіна в магнітному полі. States of a Single Qubit and Tones in Music Principle of establishing correspondence between qubit states and musical tones. Composing a quantum melody that corresponds to the spin evolution in a magnetic field. Література [Б1-Б3]	Лекції — 2 год. лабораторні — 4 год. самостійна робота — 12 год.	2 тижні
5–6	Тема 3. Відповідність багатокубітних квантових станів з тонами у музиці. Побудова відповідності багатокубітних квантових станів з тонами у музиці для написання мелодій в межах октави. Написання мелодії за допомогою трикубітних квантових протоколів. Correspondence of Multi-Qubit Quantum States with Tones in Music. Establishing correspondence between multi-qubit quantum states and tones in	Лекції — 2 год. лабораторні — 4 год. самостійна робота — 12 год.	2 тижні

Тижні	Тема занять	Форма діяльності та обсяг годин	Термін виконання
	music for composing melodies within an octave. Composing a melody using three-qubit quantum protocols. Література [Б1-Б3, Д1-2]		
7–8	Тема 4. Багатокубітні квантові протоколи та квантова музика Написання квантової музики, які відповідають еволюції станів багатоспінних систем з моделлю Ізінга, моделлю Гайзенберга. Multi-Qubit Quantum Protocols and Quantum Music. Composing quantum music that corresponds to the evolution of multi-spin systems with the Ising model, the Heisenberg model. Література [Б1-Б3]	Лекції — 2 год. лабораторні — 4 год. самостійна робота — 12 год.	2 тижні
9–10	Тема 5. Геометричні характеристики еволюційних квантових станів та симетрія у музиці. Кривизна та кручення квантових станів. Зв'язок геометричних характеристик квантових станів з симетрією у квантовій музиці Geometric Characteristics of Evolutionary Quantum States and Symmetry in Music. Curvature and torsion of quantum states. Connection between geometric characteristics of quantum states and symmetry in quantum music. Література [Б1-Б3]	Лекції — 2 год. лабораторні — 4 год. самостійна робота — 11 год.	2 тижні
11–12	Тема 6. Квантова музика еволюційних квантових графових станів Принцип побудови квантових графових станів. Квантові графові стани спінових систем. Протоколи для написання квантової музики Quantum Music of Evolutionary Quantum Graph States. Principle of constructing quantum graph states. Quantum graph states of spin systems. Protocols for composing quantum music. Література [Б1-Б3, Д2]	Лекції — 2 год. лабораторні — 4 год. самостійна робота — 11 год.	2 тижні
13–14	Тема 7. Багатоголосна квантова музика Принцип суперпозиції. Побудова багатоголосної квантової музики за допомогою багатокубітних квантових протоколів. Polyphonic Quantum Music. Principle of superposition. Construction of polyphonic quantum music using multi-qubit quantum protocols. Література [Б1-Б3, Д2]	Лекції — 2 год. лабораторні — 4 год., самостійна робота — 11 год.	2 тижні
15–16	Тема 8. Заплутаність квантових станів та багатоголосна квантова музика Міри заплутаності квантових станів (узгодженість, геометрична міра заплутаності). Написання багатоголосної квантової музики на основі протоколів з максимально заплутаними квантовими станами	Лекції — 2 год. лабораторні — 4 год. самостійна робота — 11 год.	2 тижні

Тижні	Тема занять	Форма діяльності та обсяг годин	Термін виконання
	<p>Entanglement of Quantum States and Polyphonic Quantum Music. Measures of entanglement in quantum states (entanglement entropy, geometric measure of entanglement). Composing polyphonic quantum music based on protocols with maximally entangled quantum states.</p> <p>Література [Б1-Б3, Д1]</p>		